

# Pilotage de l'irrigation avec IRRICANNE+

**Planning d'utilisation des équipements, variabilité spatiotemporelle des termes du bilan hydrique et stratégies de conduite de l'irrigation constituent la clé de voûte du pilotage de l'irrigation de la canne à sucre.**

## Introduction

La pratique de l'irrigation s'accompagne souvent de surconsommations hydriques conduisant à des coûts élevés, des performances parfois insuffisantes, et des pollutions importantes par les eaux de drainage. Depuis plus d'un demi-siècle, différentes approches ont été développées pour aider les agriculteurs à mieux conduire leurs irrigations. Le développement de l'informatique et des stations météorologiques automatiques a donné un nouvel essor à cette démarche.

Une des voies très répandues est « l'avertissement irrigation ». Il est fondé sur la publication de l'évapotranspiration (DUKE, 1996 ; MAREK *et al.*, 1996 ; QUESENBERRY *et al.*, 1996), et plus rarement de données de bacs d'évaporation (SHANNON

*et al.*, 1996). Il fournit parfois des bilans hydriques climatiques prévisionnels (HIDESHIMA *et al.*, 1996), ou encore des calendriers prévisionnels régionaux (NIMAH, 1996). Les agriculteurs éprouvent des difficultés à adapter de tels supports à leurs pratiques et ces services tendent à décliner (CLYMA, 1996).

La conduite de l'irrigation à la parcelle représente l'essentiel de la bibliographie des dernières décennies sur l'irrigation. Une première catégorie d'approche préconise des mesures directes de l'état hydrique du sol, comme par exemple EQUIL-HYDRE (RNED, 1995), couplées ou non à des logiciels. Les logiciels de bilan hydrique constituent la grande majorité des méthodes proposées. Cette démarche s'est affinée par l'introduction de modèles « plante » permettant d'inclure l'incidence d'un stress hydrique sur la produc-

J.-C. COMBRES

Cirad-amis, avenue Agropolis,  
34398 Montpellier Cedex 5, France  
jean-claude.combres@cirad.fr

tion (CABELGUENNE et DEBEAKE, 1996), d'optimiser ou de maximiser le profit (CHANG *et al.*, 1996 ; CHAUDHRY et LEME, 1996) et d'établir des priorités (PLAUBORG *et al.*, 1996).

Mais une exploitation agricole est rarement constituée d'une seule parcelle. Peu de logiciels permettent de traiter simultanément un grand nombre de parcelles (ANNANDALE *et al.*, 1996 ; COMBRES et KAMIENIARZ, 1992). Cette approche multiparcelles, qui est une amélioration notoire, reste encore insuffisante au niveau de l'exploitation, niveau auquel se prennent les décisions de l'agriculteur. A cette échelle, les logiciels LORA, IRRISA et IRMA (RNED, 1995) développent des approches prévisionnelles visant à déterminer *a priori* les meilleures stratégies en matière de choix des assolements, des objectifs de rendements, des calendriers prévisionnels d'irrigation.

Par la suite, la conduite quotidienne de l'irrigation reste un problème majeur, pour lequel un calendrier prévisionnel est parfois insuffisant. Une exploitation agricole est un cas particulier, de par les équipements qu'elle utilise, leurs caractéristiques hydrauliques, les contraintes du réseau d'irrigation, la variabilité pédologique des parcelles, et du fait des décalages de cycles culturaux de chaque parcelle. Pour l'agriculteur, la traduction d'un conseil standard — généralement fourni en millimètres d'apport d'eau, en temps ou en volume — en tenant compte de tous ces paramètres est parfois difficile. Le plus souvent, le planning d'utilisation du matériel est la première contrainte de l'agriculteur. La question « Quand irriguer ? » ne peut pas être abordée indépendamment de ces contraintes de planning et de réseau. Cet aspect a souvent été négligé (CLYMA, 1996). Par ailleurs, le quotidien de l'irrigant est fait de pannes et d'aléas divers qui l'éloignent du programme prévisionnel. La question « Combien irriguer ? » ne peut pas non plus être raisonnée sans tenir compte des pratiques réelles de l'agriculteur.

## L'objectif du logiciel IRRICANNE+ : un conseil simple et personnalisé

L'aide au pilotage de l'irrigation d'une exploitation consiste à fournir un conseil simple, et personnalisé, directement exprimé dans l'unité de réglage des équipements d'irrigation. Il est alors facilement utilisable par l'agriculteur et s'intègre dans l'ensemble de ses préoccupations. Ceci suppose que l'on ait au préalable identifié les équipements et les pratiques de l'agriculteur. L'établissement d'un calendrier prévisionnel à court terme associant date, lieu et dose d'irrigation à apporter permet une gestion simple. Cette prévision doit être conforme à l'état hydrique — très hétérogène (COMBRES et LE MEZO, 1999) — des entités à irriguer le jour de l'émission du conseil. Le bilan hydrique informatisé est bien adapté au suivi de chaque entité d'irrigation. Il est utilisé pour ce pilotage (ROBIN *et al.*, 1989 ; COMBRES et KAMIENIARZ, 1992, 1995).

Le calendrier prévisionnel doit tenir compte des contraintes du réseau (RONDEAU, 1992 ; LAPOYADE-DESCHAMPS, 1992 ; COMBRES, 1995a) et être compatible avec le planning d'utilisation du matériel d'irrigation. Ce dernier dépend des caractéristiques des équipements, et de l'organisation du travail choisie par l'agriculteur (COMBRES *et al.*, 1996, 1997).

Enfin, il est rarement souhaitable d'effectuer un remplissage complet de la réserve du sol à chaque irrigation. Cette démarche conduirait à réduire l'efficacité des pluies et à accroître les pertes par percolation, ce qui est néfaste tant sur le plan environnemental qu'économique. Il faut donc pouvoir associer des stratégies d'irrigation susceptibles de varier au cours du cycle et selon les saisons. Mais ces dernières sont inti-

mement liées au type de matériel d'irrigation utilisé.

Conseiller le pilotage de l'irrigation ne suffit pas. La connaissance des irrigations réellement pratiquées est indispensable, en premier lieu pour avoir un conseil précis, mais aussi pour analyser *a posteriori* les réalisations de l'agriculteur. Cette comparaison des pratiques avec l'optimum souhaitable est souvent le chaînon manquant pour convaincre l'agriculteur d'utiliser cette méthode (CLYMA, 1996) et lui montrer les marges de progrès. Pour établir ce dialogue, il faut conduire en parallèle des études avec les agriculteurs (COMBRES, 1993, 1995 a, 1995 b ; PATOLE, 1994) et développer des outils d'analyse (HARAUX, 1998 ; REBOUL, 1998).

Le logiciel IRRICANNE+ a pour but de répondre à toutes ces préoccupations (figure 1). Destiné à la canne à sucre il peut être configuré pour d'autres cultures. La version 1 du logiciel traite la plupart des situations de conseil rencontrées à la Réunion et est utilisée en routine dans plus de 100 exploitations depuis 1997. La version 2 en cours est dotée de nouvelles fonctionnalités, permettant de s'adapter à un plus grand nombre de situations et de cultures, et de traiter des plannings d'irrigation plus complexes.

## Les difficultés et leur traitement par IRRICANNE+

Le logiciel est conçu par « couches », un peu selon la même logique qu'un système d'information géographique. Ces « couches » sont en fait des catalogues recensant l'ensemble des paramètres régionaux. Ces catalogues sont gérés par l'administrateur de la base de données, ils portent sur les sols, les cultures, les variétés, les coefficients culturaux, les matériels d'irrigation, les postes météorologiques et pluviométriques.

Le paramétrage d'une exploitation comporte également deux « couches » :



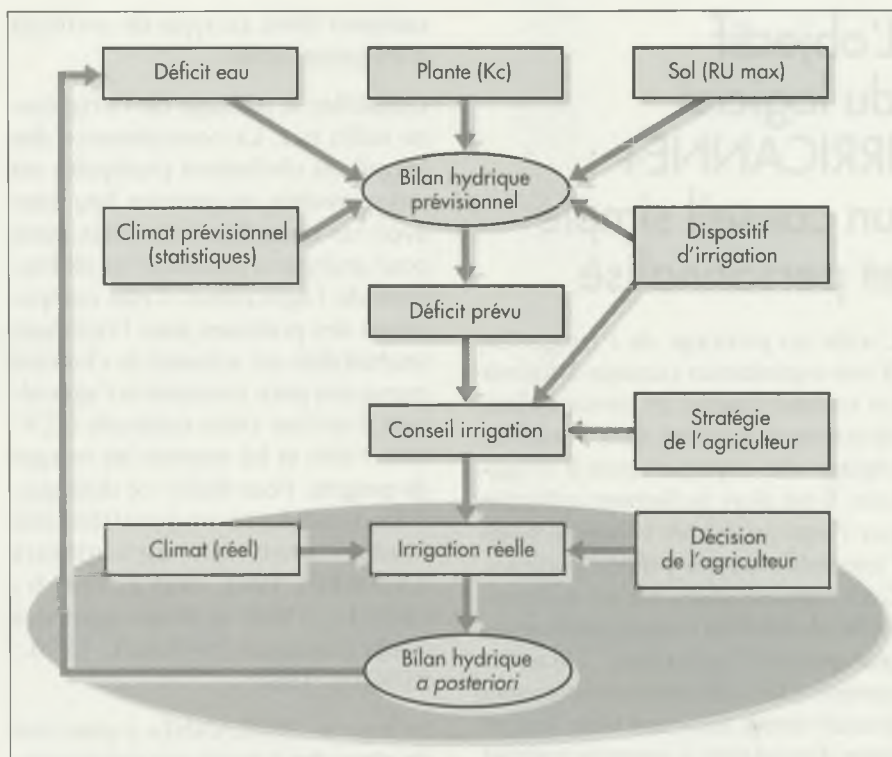
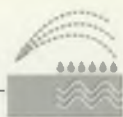


Figure 1. Conception du logiciel IRRICANNE+.

les parcelles et le matériel d'irrigation. Aux parcelles sont associés un élément des catalogues précédents et leurs caractéristiques propres concernant le cycle biologique et l'état initial des réserves hydriques. Le matériel d'irrigation (bornes, vannes, matériels, secteurs) hérite également des données de catalogue et des caractéristiques spécifiques comme la surface arrosée. Le matériel est associé aux parcelles au niveau des unités d'irrigation, point de recoupement des parcelles et des secteurs d'irrigation. Le bilan hydrique s'effectue à leur niveau. Le planning d'irrigation de l'agriculteur décrit, pour chaque vanne, la succession des secteurs d'irrigation.

## Le modèle de bilan hydrique

Le modèle est classique, simple et robuste (COMBRES et KAMIENIARZ, 1992). Il fonctionne selon une valeur seuil d'épuisement de la réserve utile (RU) conditionnant une réserve facilement utilisable (RFU) sans limitation de l'évapotranspiration, et une réserve difficilement utilisable

(RDU) avec réduction de l'évapotranspiration proportionnellement au contenu de la RDU. Ce seuil est paramétrable pour chaque sol. Le modèle peut être paramétré pour fonctionner classiquement avec un remplissage prioritaire de la RDU, ou pour fonctionner avec remplissage prioritaire de la RFU.

## La variabilité des termes du bilan hydrique

### La variabilité climatique régionale

L'écart entre les conditions climatiques de la parcelle et celles mesurées sur un poste météorologique plus ou moins éloigné, peut engendrer des erreurs importantes. En zone tropicale, la pluviométrie est parfois très localisée et crée une variabilité importante. A la Réunion, les phénomènes orographiques sont la source de gradients importants et d'une très forte variabilité spatiale de tous les paramètres climatiques. Les variations de température influencent la croissance et de ce fait le coefficient cultural. Celles de l'éva-

potranspiration potentielle (Etp) interviennent directement dans le bilan hydrique. Il faut donc pouvoir gérer cette variabilité. Un réseau de stations météorologiques et pluviométriques automatiques est installé sur les périmètres et alimente la base de données IRRICANNE+. Il est renforcé par des pluviomètres manuels gérés par les agriculteurs. A chaque parcelle peuvent être associés 1 à 3 postes fournissant l'Etp et la température. Un pourcentage de pondération est affecté à chacun. L'Etp de la parcelle est la moyenne pondérée de l'Etp des trois postes. De même, 1 à 3 postes pluviométriques, éventuellement différents des précédents, sont associés à la parcelle. Si l'on possède les données météorologiques de la parcelle, c'est ce seul poste qui lui est associé. Les données statistiques sont utilisées pour les bilans prévisionnels.

### La variabilité édaphique intraparcellaire

Le type de sol peut varier au sein de l'exploitation et au sein de la parcelle. Un sol majoritaire est affecté à la parcelle, mais des sols minoritaires peuvent aussi être affectés aux unités élémentaires d'irrigation qui la composent. Ces sols minoritaires sont importants si l'on souhaite analyser les rendements de la parcelle en fonction du bilan hydrique. Un sol est caractérisé par sa profondeur, sa réserve utile par mètre, et le rapport RFU/RU. La RU dépend de la profondeur du sol et de la profondeur racinaire de la variété. Mais cette profondeur d'enracinement peut être limitée par les techniques culturales. Cette limite est alors paramétrable à la parcelle.

### La variabilité hydrique

L'unité d'irrigation, par définition, est la plus grande entité homogène sur l'ensemble du cycle. Elle est indivisible. Elle correspond à une seule culture, un seul sol, un seul matériel. Elle est toujours irriguée dans son intégralité en une seule fois. L'affectation des irrigations, le calcul du bilan hydrique et du conseil se font à son niveau. Du fait du planning



d'arrosage et des variabilités précédentes, chacune a son état hydrique particulier. Sur les petites exploitations, les pratiques de l'agriculteur contraignent parfois à définir des unités de faible dimension. En aspersion, la plus petite unité pourrait être la maille de l'asperseur, mais la gestion s'en trouverait alourdie.

## La variabilité biologique

La parcelle est l'entité biologique de base. Mais la présence de sols minoraux et la variabilité hydrique des unités peuvent conduire à des différences de croissance et de coefficients culturaux. IRRICANNE+ intègre cet effet du stress en réduisant l'évolution du coefficient cultural (COMBRES et KAMIENIARZ, 1992). Une approche plus fine pourrait être envisagée en introduisant un modèle plante (MARTINE, 1999).

## Le matériel d'irrigation et le planning d'utilisation

### L'équipement de l'exploitation

Il est constitué de bornes, de vannes et de matériel. Les bornes ont des caractéristiques de débit maximum et de pression, éventuellement régulés. Les vannes ont en plus des contraintes de fonctionnement. Elles peuvent être indépendantes, successives, simultanées, séquentielles, ou exclusives lorsqu'elles mobilisent tout le débit de la borne. Leur mode de programmation ou celui du matériel qui leur est associé (volume en mètres cubes, temps d'irrigation, millimètres ou vitesse d'avancement) détermine l'unité de mesure dans laquelle le conseil sera fourni, en tenant compte des limites imposées par la vanne. Derrière chaque vanne, un seul type de matériel est piloté, disposé sur une ou plusieurs unités. Un ensemble de vannes peut être indissociable, c'est le cas par exemple des vannes volumétriques séquentielles.

### Le matériel géré

Les différents types de matériels sont :

- l'aspersion en couverture totale ou *jump system* pour laquelle seuls les asperseurs se déplacent sur des lignes (fixes ou mobiles) ;
- l'aspersion en couverture intégrale ;
- le goutte à goutte ;
- les canons enrouleurs ;
- les rampes pivotantes ou frontales (dans la version 2 du logiciel).

Pour chaque type, les caractéristiques du constructeur et l'efficacité standard sont consignées dans un catalogue. Les conditions réelles d'exploitation sont traitées au niveau de la vanne et éventuellement de l'unité (pertes de charge). Une correction d'efficacité pour tenir compte de la vétusté est possible au niveau de la vanne. Le débit théorique est calculé en fonction des relations entre le débit et la pression. Le débit réel est par défaut égal au débit théorique et peut être saisi s'il est mesuré.

### L'adéquation entre le parcellaire et l'équipement

L'adéquation entre le parcellaire et l'équipement est très différente suivant que l'on s'adresse à une petite exploitation familiale ou à un complexe industriel. Avec la rationalité industrielle, les parcelles sont généralement modelées en fonction du matériel d'irrigation. On a donc le plus souvent une adéquation parfaite. En revanche, sur les petites

exploitations, il n'est pas rare de constater une inadéquation. Ainsi, plusieurs asperseurs fonctionnant simultanément peuvent arroser des parcelles différentes. Le concept « une unité parcellaire = un secteur d'irrigation » n'étant pas respecté, on est contraint de gérer des unités de taille inférieure et de constituer des regroupements correspondant au secteur d'irrigation auxquels est associée une règle de gestion. Ces regroupements peuvent évoluer au cours du cycle lorsque l'irrigation est arrêtée sur une parcelle à l'approche de la récolte. Cette pratique complique la gestion.

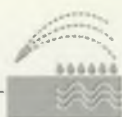
### Le planning d'irrigation

Il est géré au niveau de chaque vanne. Le tour d'eau, ou fréquence d'irrigation, représente la durée nécessaire pour irriguer tous les secteurs de la vanne. Il est exprimé en jours. Pour chaque secteur (ou unité) de la vanne, on affecte un numéro de jour et un numéro d'ordre ou moment dans la journée. Des jours sans irrigation peuvent terminer le tour d'eau. Le tableau 1 illustre un planning en aspersion avec couverture totale avec 2 positions par jour et un tour d'eau de 6 jours incluant 1 jour sans irrigation. Le premier jour, l'unité U1 est irriguée, puis l'unité U2. Le second jour ce sont les deux suivantes, etc. Le sixième jour on n'irrigue pas. Le cycle se reproduit ainsi tous les 6 jours. Ainsi, il suffit de connaître le dernier secteur irrigué et sa date d'irrigation, pour en déduire les dates des prochaines irri-

Tableau 1. Calendrier d'ouverture d'une vanne en aspersion avec couverture totale (exemple vanne 1).

Unité	J+1	J+2	J+3	J+4	J+5	J+6	J+7	J+8	J+9	J+10
U1	1					0				
U2	2					0				
U3		1				0				
U4		2				0				
U5			1			0				
U6			2			0				
U7				1		0				
U8				2		0				
U9					1	0				
U10					2	0				





gations de chaque secteur. Le conseil est calculé à ces dates.

## Les stratégies de conduite de l'irrigation

Elles sont paramétrables en fonction du choix de l'agriculteur. Plusieurs questions peuvent se poser.

Peut-on différer les irrigations ?

Il n'est pas toujours judicieux de piloter l'irrigation à une fréquence fixe. Ceci équivaldrait, en période pluvieuse, ou encore, lorsque les besoins en eau sont peu élevés, à pratiquer de très faibles apports peu rentables. Si l'on se fixe un seuil d'humidité du sol en deçà duquel il faut déclencher l'irrigation, on sait calculer, grâce à l'évapotranspiration moyenne et au contenu des réserves, le nombre de jours pour atteindre ce seuil. C'est le principe du pilotage à la demande. Mais sur les réseaux à débit limité et continu, ce type de pilotage n'est pas possible. Le logiciel IRRICANNE+ est conçu pour effectuer un compromis entre les deux approches. Il calcule de combien de jours on peut retarder l'ensemble des secteurs d'une vanne sans descendre pour chacune en-dessous du seuil de déclenchement, compte tenu du tour d'eau imposé par le planning.

Peut-on accepter un déficit hydrique pour la décade à venir ?

Deux approches sont possibles avec IRRICANNE+.

La première approche consiste à fixer un taux de remplissage de la réserve. On laisse ainsi un déficit susceptible d'améliorer l'efficacité d'éventuelles pluies. Ce taux est modifiable à chaque calcul du conseil. En période de pénurie, il doit bien sûr être de 100 %, car le réseau n'arrive pas à satisfaire la demande. En revanche, à l'approche de la saison des pluies, il y a intérêt à le réduire. On peut également le réduire lorsque l'on souhaite rationner progressivement les apports, dans les

phases de maturation par exemple, avant un arrêt total de l'irrigation.

La seconde approche prend en compte des pluies statistiquement probables. Cela s'avère intéressant à l'approche de la saison des pluies pour arrêter à temps ou bien réduire l'irrigation. C'est aussi très utile en fin de période pluvieuse, pour la reprise d'irrigation, que les agriculteurs pratiquent souvent trop tardivement. Si cette pluie ne survient pas, le déficit ainsi creusé sera rattrapé lors du prochain conseil. Il faut donc fixer une borne supérieure à cette pluie probable pour que le déficit n'excède pas le seuil de déclenchement, et pour que le retard soit rattrapable compte tenu des caractéristiques du réseau.

A chaque conseil, l'utilisateur peut choisir l'une ou l'autre des deux stratégies. Leur choix judicieux conditionne les économies d'eau sans compromettre les rendements.

## Le conseil prévisionnel et le programme d'irrigation

Les données climatiques et d'irrigation fixent l'état hydrique de l'ensemble des unités d'irrigation à une date donnée. Le bilan hydrique est calculé jusqu'à la veille du jour de conseil. Le calcul du conseil se fait en deux étapes.

Dans un premier temps (COMBRES *et al.*, 1997), le logiciel calcule un déficit hydrique théorique, extrapolé sur les 15 jours suivants, en utilisant l'Etp moyenne de la période et l'extrapolation du coefficient culturel K pour calculer l'Etm de la culture. L'irrigation efficace à apporter à une date donnée est la différence entre ce déficit théorique et celui fixé par la stratégie d'irrigation retenue.

Dans un deuxième temps, le planning d'irrigation est appliqué. Il fournit les dates d'irrigation de chaque unité et les doses sont calculées conformément à l'ensemble des règles de gestion. Les irrigations conseillées sont exprimées dans l'unité de programmation de la van-

ne et tiennent compte de l'efficacité du matériel d'irrigation. Un calendrier prévisionnel fournit pour chaque unité d'irrigation les dates et quantités d'eau à apporter. Il constitue le conseil donné à l'agriculteur qui orientera ses pratiques. Ensuite, les irrigations réellement effectuées seront incorporées dans la base pour calculer un nouveau bilan hydrique et éditer un nouveau conseil. La fréquence d'édition des conseils est fonction de la fréquence à laquelle les irrigations réelles sont fournies au conseiller. Le conseil pourrait être calculé quotidiennement, le calendrier prévisionnel n'aurait alors plus grand intérêt. Pour les petits planteurs, la fréquence adoptée est de 10 jours pour la version 1, 15 jours pour la version 2. Le tableau 2 reprend l'exemple du tableau 1 pour un conseil édité le 6 décembre 1999, avec des unités de 5 asperseurs en maille 24 m x 24 m et une efficacité de 75 %. Les unités 6, 7 et 8 appartiennent à une parcelle qui a un coefficient culturel plus faible. Les unités 1, 2 et 5 ont un léger retard d'irrigation, qui est comblé au premier apport.

## Le bilan à la récolte

La canne à sucre est une culture pluri-annuelle. Les cycles se succèdent sans modification des parcelles. La récolte d'une parcelle peut durer plusieurs jours. Pour avoir des cycles bien calés, on cherche à ne pas excéder 15 jours. Les dates de début et de fin de récolte sont saisies. A la saisie de la date de fin de récolte, plusieurs événements s'enchaînent. On calcule, pour la parcelle et tout son cycle, les cumuls de données hydriques (Etp, Etm, Etr, pluie, nombre et montant des irrigations, etc.) en faisant la moyenne de toutes les unités de la parcelle. Ils sont stockés dans une table intitulée « bilan de campagne » dans laquelle seront saisis le tonnage produit et la richesse moyenne en sucre. Les bilans hydriques du cycle terminé sont ensuite supprimés sur toutes les unités. Le nouveau cycle est initialisé. La parcelle peut être en attente de replantation, ou poursuivre son



cycle en repousse. Dans ce dernier cas, le numéro de repousse et l'année de campagne sont incrémentés, les bilans hydriques sont initialisés à la valeur calculée à la date de fin de récolte (mais ils peuvent être modifiés manuellement si nécessaire).

## Les étapes de paramétrage et d'utilisation du logiciel

Le logiciel comporte une base de données relationnelle et un module de traitement des données. L'accès à la base dépend des droits associés à chaque type d'utilisateur. Ceci accroît la sécurité et la confidentialité de la base. L'administrateur a tous les droits et accède à tous les modules. Il est le seul à pouvoir créer et modifier les tables catalogues. Il gère les différents utilisateurs qui sont de deux types : les techniciens météo et les conseillers agricoles. Les premiers n'ont accès qu'aux fonctions de création et de mise à jour des postes et des données météorologiques. Les conseillers agricoles ont accès à toutes les données relatives aux agriculteurs qu'ils conseillent, et uniquement à celles-là.

Les délais de mise en œuvre du logiciel dépendent essentiellement de l'étendue de la région à conseiller et de la complexité des exploitations.

L'utilisation la plus simple serait le suivi d'une seule parcelle par l'administrateur. Il suffit d'un sol, d'une culture, d'un coefficient cultural, d'un poste météo et d'un type de matériel d'irrigation. Le paramétrage prend quelques minutes.

En revanche, s'il s'agit de conseiller des exploitations réparties sur plusieurs milliers d'hectares, la création des catalogues peut prendre plusieurs jours de saisie. C'est un travail valable pour plusieurs campagnes.

Pour le conseiller agricole, la prise en compte d'une nouvelle exploitation comporte plusieurs étapes qui ne sont pas toutes liées à l'utilisation du logiciel :

- une étape de diagnostic de l'exploitation. La conduite de l'irrigation est-elle la préoccupation essentielle de l'agriculteur ? Ses équipements lui permettent-ils de gérer les apports d'eau ? Seule une réponse positive à ces deux questions permet de passer aux phases suivantes ;
- une étape d'acquisition des données d'entrées et d'établissement des pratiques au niveau du planning d'arrosage. C'est également une phase de discussion pour l'amélioration des pratiques et des équipements. C'est l'étape la plus longue et minutieuse qui conditionne l'avenir et qui nécessite des compétences en irrigation ;
- le paramétrage initial du logiciel. Pour une exploitation d'une dizaine d'hectares, avec plusieurs types d'équipements, de parcelles et de cultures, il faut environ 1 heure pour

les cas les plus complexes. Ce travail est fait une fois pour toutes. Il peut être affiné par des observations de terrain mais reste valide pour plusieurs campagnes ;

– la phase de conseil en routine est simple et pourrait être gérée par un agriculteur formé. Elle comporte 5 étapes : saisie des irrigations, calcul du bilan hydrique, modification éventuelle des stratégies, calcul du conseil, validation et édition. Dans les cas les plus complexes il faut compter 20 à 30 minutes tous les 10 jours.

## Conclusion

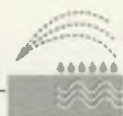
IRRICANNE+ est un logiciel multi-parcelles et multi-utilisateurs. Il a été conçu pour pouvoir gérer la variabilité microclimatique quotidienne entre les stations météo, les exploitations et les parcelles. Il est, de ce fait, bien adapté aux régions à fort gradient microclimatique, et aux périmètres agro-industriels de plusieurs milliers d'hectares où la variabilité pluviométrique peut être importante.

Au niveau de l'exploitation, il gère l'ensemble de celle-ci et les contraintes induites par le planning d'arrosage. Au niveau de chaque parcelle, il gère la variabilité pédologique, hydrique et biologique intraparcellaire. Pour la canne à sucre, les modèles « plante » ont été validés à la Réunion. Le conseil fourni est conforme à l'organisation du travail, et ne demande aucune conversion de la part de l'agriculteur.

Tableau 2. Exemple de calendrier d'irrigation fourni par IRRICANNE+, pour une vanne (vanne 1).

Unité d'irrigation	Date	Quantités conseillées (m <sup>3</sup> ) et dates prévues									
		7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	12/12	13/12	14/12	15/12	16/12
U1	1/12	115						100			
U2	1/12	115						100			
U3	2/12		110						110		
U4	2/12		110						110		
U5	3/12			130						110	
U6	3/12			90						90	
U7	4/12				90						90
U8	4/12				90						90
U9	5/12					115					
U10	5/12					115					





Cette démarche particulière, qui permet de s'adapter à des situations de terrain très variées, est la caractéristique la plus originale d'IRRICANNE+.

Le paramétrage initial par des techniciens formés et compétents en irrigation permet de fiabiliser les données d'entrées et de garantir la qualité du conseil fourni. L'utilisation courante pour calculer le conseil ne requiert aucune compétence particulière, en dehors de l'utilisation bureautique d'un ordinateur. Si l'agriculteur, ou le gestionnaire de grands périmètres, effectue cette tâche, il n'y a pas de limitation à sa vulgarisation.

La question est plus délicate si l'intervention d'un conseiller est nécessaire, du fait des compétences insuffisantes de l'agriculteur. Il se pose alors un problème de développement et de transfert de l'information, pour maximiser le nombre d'agriculteurs conseillés.

IRRICANNE+ s'adresse aussi bien à l'utilisateur individuel, qu'à l'organisme de développement ou au grand périmètre industriel. A la Réunion, il fonctionne en routine depuis quatre ans. Les organismes de développement conseillent plus de 100 exploitations et envisagent de passer à 300.

## Bibliographie

- ANNANDALE J.G., BENADE N., VAN DER WESTHUIZEN A.J., CAMPBELL G.S., 1996. The SWP (Soil Water Balance) irrigation scheduling model. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 944-949.
- CABELGUENNE M., DEBEAKE P., 1996. EPIC-PHASE Real Time, a model for irrigation scheduling a test for corn in southwestern France. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 956-961.
- CHANG Y., VANCLOOSTER M., HUBRECHTS L., FEYEN J., 1996. Optimal irrigation scheduling of sugar cane by net profit maximization through dynamic programming. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 1122-1127.
- CHAUDHRY F.H., LEME E.J.A., 1996. Multicriteria decision analysis in irrigation scheduling. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 1128-1133.
- CLYMA W., 1996. Irrigation scheduling revisited: historical evaluation and reformulation of the concept. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 626-631.
- COMBRES J.-C., 1993. Opération IRRICANNE, rapport d'exécution. Saint-Pierre, Réunion. Cirad-ca, 10 p.
- COMBRES J.-C., 1995a. IRRICANNE. Impact et enseignements de l'opération pilote. Cirad, 12 p.
- COMBRES J.-C., 1995b. Gestion de l'irrigation : l'expérience d'Irricanne. Saint Pierre, Réunion. Cirad-ca, 13 p.
- COMBRES J.-C., KAMIENIARZ C., 1992. Un logiciel multi-parcelles et multi-utilisateurs d'avertissement irrigation et de gestion des périmètres irrigués, ICID Bulletin, 41 (2) : 135-152.
- COMBRES J.-C., KAMIENIARZ C., 1995. IRRICANNE. *In* La conduite de l'irrigation. De la stratégie au pilotage de l'irrigation. RNED-HA 124 p.
- COMBRES J.-C., KAMIENIARZ C., MARAUX F., 1996. Pilotage de l'irrigation de la canne à sucre sous contrainte de réseau avec IRRICANNE+. Workshop on crop-water environment models. ICID.CIID, Le Caire, Egypte, 17 septembre 1996.
- COMBRES J.-C., LE MEZO L., 1999. Le pilotage de l'irrigation : de la parcelle au périmètre. *Agriculture et Développement*, 24 : 100-105.
- COMBRES J.-C., NETO P., KAMIENIARZ C., 1997. Bilan hydrique, stratégies d'irrigation et planning d'arrosage pour conseiller les exploitations avec IRRICANNE+. p. 369-382. Actes du Congrès Artas/Afcas, Saint-Denis, la Réunion.
- DUKE H.R., 1996. COAGMET Colorado Agricultural Meteorological Network. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 704-709.
- HARAUX F., 1998. Couplage Simulex Irricanne. Université de Montpellier II, Montpellier, France.
- HIDESHIMA Y., SUZUKI Y., AOKI M., MACHIMURA T., MATSUOKA N., 1996. Regional Network of Irrigation Scheduling Information. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 716-721.
- KAMIENIARZ C., 1991. Projet Téléinformatique de conseil personnalisé à l'irrigation. Cirad, université Paul Sabatier Toulouse, France. 51 p.
- LAPOYADE-DESCHAMP N., 1992. Impact des contraintes agricoles sur le conseil personnalisé à l'irrigation IRRICANNE. Bilan à la récolte et propositions d'orientations. ISTOM, France. 72 p.
- MAREK T., HOWELL T., NEW L., BEAN B., DUSEK D., MICHELS G.M., 1996. Texas North Plains PET Network. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 710-715.
- MARTINE J.-F., 1999. Croissance de la canne et stress hydrique : les apports d'un modèle plante. *Agriculture et développement* 24 : 21-28.
- NIMAH M.N., 1996. IRRIWAT A mathematical model and software for real-time irrigation scheduling. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 858-863.
- PATOLE V., 1994. Conseil personnalisé aux irrigants. Opération Irricanne Cirad-Suad-Saphir. Bilan de la phase pilote. Mémoire de Certificat d'Etudes Supérieures ENGEEES. Mention hydraulique agricole. 92 p. + annexes.
- PLAUBORG F., ANDERSEN M.N., HEIDMAN T., OLESEN J.E., 1996. MARKVAND: A decision support system for irrigation scheduling. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 527-535.
- QUESENBERRY S., QUESENBERRY L., GOALEN J., 1996. Irrigation Scheduling using Weather Stations and a Bulletin Board System. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 880-885.
- REBOUL J.G., 1998. IRRICANNE. Portage sous Oracle et couplage avec un SIG. Rapport de fin d'études. IUP Génie Mathématique et Informatique. Université de Montpellier II, Montpellier, France.
- RNED-HA, 1995. La conduite de l'irrigation. De la stratégie au pilotage de l'irrigation. 124 p.
- ROBIN P., COMBRES J.-C., KAMIENIARZ C., 1989. Un logiciel d'aide à la décision pour conduire l'irrigation de multiples parcelles de canne à sucre. *Bull. Agronomique Antilles Guyane*. 9 : 39-45.
- RONDEAU P., 1992. Le conseil personnalisé à l'irrigation : IRRICANNE. Mise en place, Evaluation et perspectives d'avenir. ESA, Angers, France. 58 p. + annexes.
- SHANNON E.L., HOLDEN J.R., RAINE S.R., 1996. Adoption of Improved Irrigation Practices by Burkedin Cane Growers. *In* Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. Proceedings of the international conference. 3-6 novembre 1996. San Antonio, Texas, Etats-Unis, p. 214-219.



## Résumé...Abstract...Resumen

### J.-C. COMBRES — Pilotage de l'irrigation avec IRRICANNE+.

Le logiciel de pilotage de l'irrigation IRRICANNE+ a été conçu pour fournir un conseil simple, personnalisé et conforme aux pratiques de l'irrigant. Il intègre toutes les données relatives au réseau, au matériel d'irrigation de l'exploitation et à son planning d'utilisation. Il établit un bilan hydrique qui gère au mieux les variations climatiques régionales (association des parcelles à plusieurs postes météorologiques), et les hétérogénéités intra-parcellaires, édaphiques (unités de sol), hydriques (la plus petite unité d'irrigation pourrait être la maille d'asperseur), et biologiques (incidence du stress sur le coefficient cultural). Plusieurs stratégies d'économie d'eau peuvent être choisies à chaque calcul du conseil. Il prend la forme d'un calendrier décadaire, conforme au planning d'irrigation, exprimé dans l'unité de réglage des vannes. Le logiciel est conçu pour accepter un grand nombre d'utilisateurs ayant des droits différents. La base de données relationnelle est gérée par un administrateur qui crée les tables de référence. L'agriculteur, ou son conseiller, décrit préalablement l'exploitation, puis calcule et édite le conseil de pilotage.

**Mots-clés :** canne à sucre, pilotage d'irrigation, modélisation, logiciel, aide à la décision, milieu insulaire, *Saccharum*.

### J.-C. COMBRES — Irrigation control with IRRICANNE+.

The IRRICANNE+ irrigation control software was designed to provide simple, personalized advice that fits in with farmer practices. It integrates all the data concerning the irrigation network and equipment on a farm and planning its use. It establishes a water balance aimed at optimum management of regional climatic variations (linking plots with several weather stations) and heterogeneity within plots, in terms of the soil (soil units), water (the smallest irrigation unit could be the sprinkler system), and biological factors (impact of stress on the crop coefficient). Several water saving strategies can be chosen each time the software is used for advice, which takes the form of a ten-day schedule, in line with the irrigation plan, expressed in terms of how the valves are set. The software is designed to handle a large number of users with different rights. The relational database is managed by an administrator who draws up standard tables. The farmer, or his advisor, describes the farm beforehand, before calculating and printing out the control advice.

**Keywords:** sugarcane, irrigation control, modelling, software, decision support, island environment, *Saccharum*

### J.-C. COMBRES — Control de riego con IRRICANNE+.

El software de control de riego IRRICANNE+ ha sido concebido para proporcionar consejos simples, personalizados y conformes con las prácticas de los regantes. Integra todos los datos relativos a la red, al material de riego de la explotación y a su programa de utilización. Establece un balance hídrico que gestiona adecuadamente las variaciones climáticas regionales (asociación de parcelas a varios puestos meteorológicos), las diferencias intraparcclarias, edáficas (unidades de suelo), hídricas (la unidad de riego más pequeña podría ser la malla de aspersor) y biológicas (incidencia del estrés en el coeficiente de cultivo). Se pueden elegir varias estrategias de economía de agua en cada cálculo del consultor. Toma la forma de un calendario a diez días, de acuerdo con la planificación del riego, expresado en la unidad de reglaje de las compuertas. El software está concebido para soportar un gran número de utilizadores con diferentes derechos. La base de datos relacional está gestionada por un administrador que crea las tablas de referencia. El agricultor, o su asesor, describe previamente la explotación y, luego, calcula y edita el consejo de control.

**Palabras clave:** caña de azúcar, control de riego, modelización, software, ayuda a la decisión, medio insular, *Saccharum*.



Champs de canne à sucre à la Réunion.  
(R. Fauconnier)